

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Tomislav Batković

Zagreb, 2012.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Prof. dr. sc. Boris Halasz

Student:

Tomislav Batković

Zagreb, 2012.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći stečena znanja tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se na ukazanoj pomoći prof. Halazsu i prof. Soldi na ukazanoj pomoći. Bez njihove pomoći ovaj problem bi bilo izuzetno teško riješiti. Zahvaljujem se svojoj obitelji i kolegama studentima na potpori tokom studiranja u preddiplomskom studiju.

Tomislav Batković



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite

Povjerenstvo za završne i diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:
procesno-energetski, konstrukcijski, brodostrojarški i inženjersko modeliranje i računalne
simulacije

| | |
|-------------------------------------|--------|
| Sveučilište u Zagrebu | |
| Fakultet strojarstva i brodogradnje | |
| Datum | Prilog |
| Klasa: | |
| Ur.broj: | |

ZAVRŠNI ZADATAK

Student:

Mat. br.:

Naslov:

Opis zadatka:

Zadatak zadan:

Rok predaje rada:

Zadatak zadao:

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Mladen Andrassy

SADRŽAJ

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| SADRŽAJ | 1 |
| POPIS SLIKA | 2 |
| POPIS TABLICA..... | 3 |
| POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE | 4 |
| SAŽETAK..... | 5 |
| 1. UVOD..... | 6 |
| 1.1. Končar Ugostiteljska oprema d.o.o. | 7 |
| 1.2. Prijenos topline | 8 |
| 1.3. Potreba hlađenja | 9 |
| 2. ISPITIVANJE TRŽIŠTA | 11 |
| 2.1. Postojeći proizvodi na tržištu | 11 |
| 3. TERMODINAMIČKI PRORAČUN UPADA TOPLINE | 13 |
| 3.1. Upadi osjetilne topline | 14 |
| 3.1.1. Proračun upada topline prilikom konvekcije i kondukcije | 14 |
| 3.1.2. Proračun upada topline prilikom zračenja | 15 |
| 3.1.3. Proračun upada topline prilikom rada ventilatora..... | 16 |
| 3.1.4. Proračun upada topline prilikom rada neonskih lampi | 16 |
| 3.1.5. Proračun upada topline prilikom upada toplog zraka | 16 |
| 3.1.6. Proračun upada topline prilikom odmrzavanja isparivača (defrost)..... | 17 |
| 3.1.7. Proračun upada topline zbog protukondenzivnih grijača..... | 17 |
| 3.1.8. Proračun upada topline zbog hrane | 17 |
| 3.2. Upadi latentne topline | 18 |
| 3.2.1. Latentni upad topline radi izmjene zraka..... | 18 |
| 3.2.2. Latentni upad topline radi respiracije hrane..... | 19 |
| 3.3. Provjera sustava na kondenzaciju | 19 |
| 3.3.1. Provjera temperaturi stijenki sustava | 19 |
| 3.3.2. Izračun količine kondenzata na izlazu iz sustava i potrebne topline isparavanja | 19 |
| 3.4. Ukupan upad topline u sustav | 20 |
| 4. PRORAČUN RASHLADNOG SUSTAVA | 21 |
| 4.1. Odabir rashladnog medija | 21 |
| 4.2. Proračun komponenti rashladnog sustava..... | 22 |
| 4.3. Proračun cjevovoda..... | 25 |
| 4.4. Odabrane komponente sustava..... | 26 |
| 5. Konstrukcijsko rješenje sustava..... | 30 |
| 6. ZAKLJUČAK..... | 34 |
| PRILOZI..... | 35 |
| LITERATURA..... | 36 |

POPIS SLIKA

| | | |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Slika 1 | Prikaz ranijih kućanskih hladnjaka..... | 10 |
| Slika 2 | Samostojeća vitrina Elektrolux (konvektivna)..... | 12 |
| Slika 3 | Nadgradna vitrina Kogast (gravitacijska)..... | 12 |
| Slika 4 | Prikaz postavljanja jednadžbi kod paralelno i serijski postavljenih stijenki | 14 |
| Slika 5 | Prikaz vrijednosti S za proračun rubova i kutova..... | 14 |
| Slika 6 | Psihrometrijska tablica | 18 |
| Slika 7 | Prikaz procesa u T-S dijagramu za plin R-134a..... | 22 |
| Slika 8 | Prikaz procesa u P-h dijagramu za R-134a | 23 |
| Slika 9 | 9 – A dijagram isparivača | 23 |
| Slika 10 | Shematski prikaz rashladnog uređaja..... | 26 |
| Slika 11 | Prikaz kondenzacione jedinice, isparivača, termoeekspanzionog ventila (prednja strana) | 30 |
| Slika 12 | Prikaz kondenzacione jedinice, isparivača, termoeekspanzionog ventila (stražnja strana) | 31 |
| Slika 13 | Prikaz cijelog rashladnog sustava..... | 32 |
| Slika 14 | Prikaz strujanja hladnog zraka | 33 |

POPIS TABLICA

| | | |
|-----------|-------------------|----|
| Tablica 1 | View faktori..... | 15 |
|-----------|-------------------|----|

POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE

K47901 Rashladna vitrina HVK-1

K47917 Rashladne komponente

SAŽETAK

U projektu je obrađeno jedno polje rashladnih sustava. Za cilj je trebalo napraviti rashladnu nadgradnu vitrinu. U radu je napravljen detaljan proračun gubitaka, te proračun komponenti rashladnog sustava. Napravljen je osvrt na problematiku hlađenja, te opisan proces hlađenja.

Funkcija rashladne vitrine je da održava temperaturu hrane, ne da i hladi. Takvi sustavi se uglavnom primjenjuju u menzama i restoranima vrlo brzog protoka.

Trenutno postoje dva tipa vitrina, a to su samostojeća i nadgradna. Svaka od njih ima još dva podtipa, konvektivni i gravitacijski način rada.

1. UVOD

Zadani projekt završnog rada je realni projekt, te je izrađen za tvrtku „Končar – Ugostiteljska oprema“. Cilj projekta je napraviti funkcionalni rashladni sustav koji će prvenstveno biti izveden kvalitetno, biti pouzdan i ekonomičan.

Naime, kod sustava poput restorana, menzi i ostalih ugostiteljskih objekata bitno je da sustavi budu što ekonomičniji jer u sustavi rade preko 8 sati bez prekida, te kao posljedicu troše veliku količinu električne energije. Taj problem je pogotovo izražen u studentskim i radničkim menzama.

Problem predstavlja i kvaliteta proizvoda. U pravilu objekti poput menzi su objekti jako visoke protočnosti (preko 100 ljudi u 1 sat), te je jako izraženo trošenje komponenti sustava, što predstavlja problem po pitanju uštede u dobavnim komponentama i materijalima. Naime, ušteda kod komponenti koje su izložene izrazitom trošenju (vrata) može uzrokovati ubrzan kvar tih istih komponenti. Naravno budući da je ovaj proizvod isključivo predviđen za ugostiteljstvo, potrebno je da bude usklađen i sa HACCP propisima.

Rashladna vitrina u definiciji služi sa skladištenje već ohlađene hrane, a ne i za hlađenje iste.

Za rješavanje ovog problema potrebno je imati dobro znanje iz primjenjene termodinamike, te solidno znanje iz HVAC&R. U pravilu rashladni sustavi su kao sustavi osjetljivi, pa treba obratiti pozornost na detalje kod odabira komponenti sustava, tj. sve komponente moraju biti usklađene.

Model je rađen u SolidWorks 2010 Premium, a proračun, radi čestih iteracija, u Wolfram Mathematica 8. U ovom tekstu će biti prikazana samo rješenja jednadžbi, dok su jednadžbe detaljnije prikazano u prilogu „Proračun rashladnog sustava“.

1.1. Končar Ugostiteljska oprema d.o.o.

Društvo KONČAR- ugostiteljska oprema d.o.o. posluje u okviru koncerna KONČAR-elektroindustrija d.d. Ima više od pola stoljeća iskustva u projektiranju, proizvodnji, montaži i servisiranju ugostiteljske opreme. Kupcima nudi širok asortiman proizvoda za kompletno opremanje objekata sistemom "ključ u ruke" :

- termičku opremu
- neutralnu opremu
- specijalnu opremu (šankovi i ostala oprema po posebnom zahtjevu)
- brodsku opremu
- rashladnu opremu
- strojeve za pranje posuđa
- univerzalne kuhinjske strojeve
- posebnu ugostiteljsku opremu za bolnice

Osnovni podaci o društvu:

Adresa : Žitnjak bb,
10 000 Zagreb,
Hrvatska

Uprava : Željko Tukec dipl. ing. stroj

Broj zaposlenih : 89

Temeljni kapital : 25.447.800,00 kn

1.2. Prijenos topline

Iako su ljudi relativno rano ovladali vatrom (toplinom), netko bi pomislio da je čovjek isto tako ovladao prirodom prijenosa topline. Naime, prirodom prijenosa topline čovjek je ovladao tek sredinom 19. stoljeća i to zahvaljujući razvoja, u to vrijeme, kinetičke teorije koja definira da je topline zapravo energija koja je povezana sa gibanjem molekula i atoma.

Doduše do sredine 19. stoljeća bila je usvojena teorija o kaloriku, tj. fluidu bez mase, mirisa, okusa koji je zaslužan za prijenos topline. Princip kalorika je funkcionirao tako da ako bi željeli neko tijelo zagrijati, kalorik bi se „ulio“ u to tijelo, a ako bi, primjerice, htjeli ohladiti neko tijelo kalorik bi jednostavno istekao iz tog tijela. Za tu teoriju zaslužan je bio francuski kemičar Antoine Lavoisier.

Pažljivim eksperimentiranjem, te objavom rezultata, James P. Joule je 1843. srušio tu teoriju i postavio temelje za razvoj grane termodinamike koja se bavi prijenosom topline.

Trenutno postoje tri mehanizma za prijenos topline, a motor koji ih pogoni je zapravo razlika u temperaturi.

Mehanizmi prijenosa topline su:

- Kondukcija, opisana Fourierovim zakonom

$$\dot{Q} = -\lambda A \frac{dT}{dx}$$

- Konvekcija, opisana Newtonovim zakonom hlađenja

$$\dot{Q} = \alpha A (T_s - T_\infty)$$

- Zračenje, opisano Stefan-Boltzmannovim zakonom

$$\dot{Q} = \varepsilon \sigma A_s (T_s^4 - T_{okoline}^4)$$

1.3. Potreba hlađenja

Hlađenje se u ovom tekstu odnosi na hlađenje plinova ili fluida, te tako posredno hlađenja hrane, prostora.

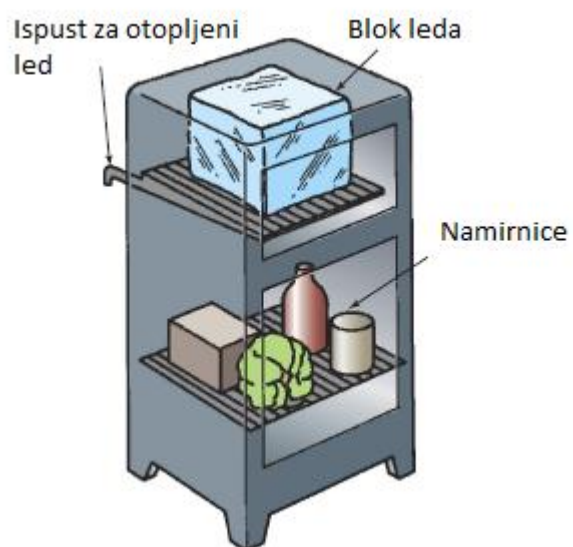
Najviše dokaza upućuje na to da su Kinezi 1000 godina prije Krista koristili led za hlađenje namirnica. To su radili tako da su led i snijeg dopremali s planina u podrumске prostorije u kojima su se hladile namirnice. Stari Grci i Rimljani su to radili na sličan način. Iskopavali su duboke jame i u njih skladištili snijeg i led, te namirnice. Otvoreni dio su pokrivali sa slamom kako bi osigurali izolaciju za duže periode hlađenja. Zanimljivo je da su stari Egipćani koristili porozne zemljane zdjele u kojima su hladili fluide. Posude su ostavljali preko „suhih“ noći, te je prilikom prolaza fluida preko poroznih stijenki, taj isti fluid isparavao, te davao učinak hlađenja.

Prva osoba koja je koristila medij koji nije led je bio Amerikanac Jacob Prekins i to godine 1834. Ujedno, to je i prvi zatvoreni rashladni sustav. Za medij je korišten visoko zapaljiv eter. U tom sustavu kompresor je bio pogonjen ručno, a kondenzator je bio hlađen vodom.

Godine 1858, francuski izumitelj, Ferdinand Carre razvija mehanički hladnjak koji je koristio tekući amonijak u kompresijskom stroju. Stroj je doslovno stvarao blokove leda, što je i bilo logično, jer do početka 20. stoljeća dobar dio kućanstava je i dalje koristio led kao rashladni medij (Slika 1).

Do promjene dolazi 1918 godine kad se na tržištu počnu pojavljivati komercijalni hladnjaci. Prvi takav je Kelvinator, ali je bio relativno nepraktičan, pošto je kondenzaciona jedinica bila u podrumu dok je isparivač s ekspanzionim ventilom bio u kuhinji.

Od tada dolazi do ubrzanog razvoja u granama klimatizacije i hlađenja.



Slika 1 Prikaz ranijih kućanskih hladnjaka

2. ISPITIVANJE TRŽIŠTA

2.1. Postojeći proizvodi na tržištu

Kad kažemo rashladna vitrina, mislimo na sustav koji održava temperaturu hrane. Hrana unutar tog sustava mora biti vidljiva. Doduše taj sustav se može podijeliti na samostojeći i nadgradni. Ta dva sustava se još mogu podijeliti i na statički (gravitacijski) i konvektivni.

Cilj društva Končar je da utvrdi poziciju „leadera“ u regiji u grani rashladnih uređaja. Trenutno društvo ne posjeduje znanje za izradu nadgradne ili samostojeće rashladne vitrine.

Glavni konkurenti društva u polju hlađene ugostiteljske opreme u regiji su Elektrolux, Fagor, Kogast, Metos. Zanimljivo je da Elektrolux radi isključivo konvektivne samostojeće vitrine (Slika 2), dok Kogast radi prvenstveno nadgradne vitrine sa statičkim hlađenjem (Slika 3). Metos i Fagor ne proizvode rashladne vitrine.

Cilj projekta je napraviti kvalitetan i pouzdan proizvod, koji je ekonomičan, koji ima nižu cijenu od konkurencije.



Slika 2 Samostojeća vitrina Elektrolux (konvektivna)



Slika 3 Nadgradna vitrina Kogast (gravitacijska)

3. TERMODINAMIČKI PRORAČUN UPADA TOPLINE

Da bi riješili ovaj problem prvo moramo odrediti koje točno gubitke trebamo izračunati. Poželjno je da je proračun što precizniji jer su nam ukupni upadi topline zapravo rashladni učin koji trebamo ostvariti. Naravno ovdje treba paziti da se sustav proračunava za najgori mogući slučaj, a taj višak rashladnog učina nam ostaje kao svojebitna rezerva.

Prve upade koje moramo odrediti su osjetilni i latentni. Osjetilni upadi topline su zapravo kako i sama riječ govori upadi koje možemo osjetiti, dok su latentni upadi, upadi primjerice, radi kondenzacije (isparavanja). Znači ukupan upad topline ćemo računati:

$$\Phi_{ug} = \Phi_{sens} + \Phi_{lat}$$

Sada treba odrediti što su točno osjetilni gubici, a što latentni

$$\Phi_{sens} = \Phi_c + \Phi_r + \Phi_{uo} + \Phi_s + \Phi_v + \Phi_{df} + \Phi_{ash} + 2\Phi_h$$

$$\Phi_{lat} = \Phi_{lt} + \Phi_{rh}$$

Kada imamo polazne formule možemo krenuti na rješavanje termodinamičkog dijela proračuna. Naravno, prije toga trebamo definirati materijale koje ćemo koristiti za polaznu konstrukciju.

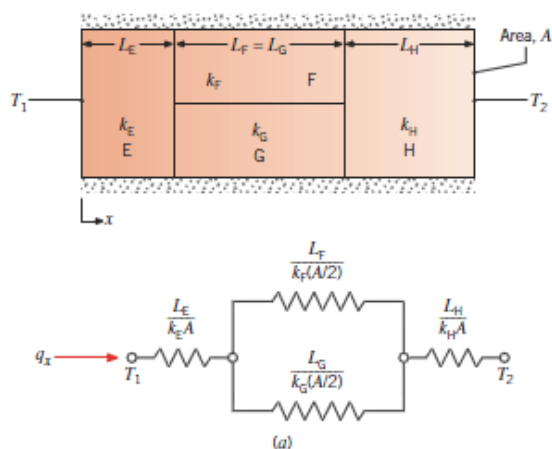
Budući da će sustav u sebi imati uskladištenu hranu, materijal za površine će biti INOX AISI 304, za izolaciju ćemo izabrati Styrofoam, a za stakla standardna IZO stakla punjena argonom.

3.1. Upadi osjetilne topline

3.1.1. Proračun upada topline prilikom konvekcije i kondukcije

Kod proračun upada radi konvekcije i kondukcije moramo uzeti u obzir da nam toplina ulazi sa svih strana. Koeficijente konvekcije ćemo uzeti parametre iz CIBSE guide-a.

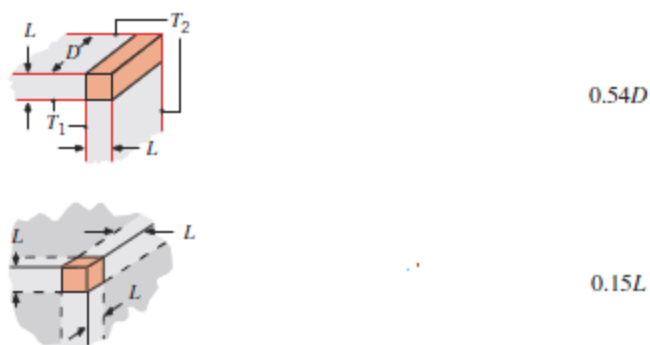
Prvo ćemo izračunati otpore materijala, pa tek onda ukupan upad topline za pojedinu stranu. Treba napomenuti da ćemo se koristiti Ohmovim zakonom za otpore.



Slika 4 Prikaz postavljanja jednadžbi kod paralelno i serijski postavljenih stijenki

Za kutove i rubove ćemo se koristiti jednadžbom za faktor oblika

$$\Phi = S \cdot \lambda \cdot \Delta T$$



Slika 5 Prikaz vrijednosti S za proračun rubova i kutova

Ukupan upad topline radi kondukcije i konvekcije iznosi

$$\Phi_c = 158.5 \text{ [W]}$$

3.1.2. Proračun upada topline prilikom zračenja

Prilikom ovog dijela proračuna ne smijemo koristiti model obuhvaćenog tijela zato što police i hrana nisu potpuno obuhvaćene, pa se stoga moramo poslužiti „view“ faktorom. Da bi odredili „view“ faktor, prvo moramo odrediti koliko površina imamo. Nakon toga moramo odrediti koliko faktora možemo odrediti direktno, a koliko indirektno. To možemo odrediti pomoću formula:

$$N^2 = 10^2 = 100$$

$$\frac{1}{2}N(N - 1) = \frac{10}{2}9 = 45$$

Zato što imamo 10 površina, imamo 100 view faktora za odrediti, od kojih 45 možemo odrediti direktno, a 55 indirektno. Indirektno određujemo view faktore pravilom recipročnosti, zbrajanja, superpozicije i simetrije.

| View factor F_{ij} | | j | | | | | | | | | |
|-------------------------|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| i | 1 | | 0 | 0,18 | 0,57 | 0,1 | 0,05 | 0,01 | 0,09 | 0,05 | 0,1 |
| | 2 | 0 | | 0,57 | 0,18 | 0,05 | 0,1 | 0,09 | 0,01 | 0,1 | 0,05 |
| | 3 | 0,18 | 0,57 | | 0 | 0,05 | 0,1 | 0,09 | 0,01 | 0,1 | 0,05 |
| | 4 | 0,57 | 0,18 | 0 | | 0,05 | 0,1 | 0,01 | 0,09 | 0,1 | 0,05 |
| | 5 | 0,315 | 0,1575 | 0,315 | 0,1575 | | 0 | 0,0145 | 0,115 | 0,03 | 0,08 |
| | 6 | 0,1575 | 0,315 | 0,315 | 0,1575 | 0 | | 0,115 | 0,0145 | 0,08 | 0,03 |
| | 7 | 0,0329 | 0,2961 | 0,2961 | 0,0329 | 0,0152 | 0,11 | | 0,15 | 0,11 | 0,0152 |
| | 8 | 0,2961 | 0,0329 | 0,0329 | 0,2961 | 0,11 | 0,0152 | 0,15 | | 0,0152 | 0,11 |
| | 9 | 0,1575 | 0,315 | 0,315 | 0,1575 | 0,03 | 0,08 | 0,115 | 0,0145 | | 0 |
| | 10 | 0,315 | 0,1575 | 0,1575 | 0,315 | 0,08 | 0,03 | 0,0145 | 0,115 | 0 | |

Tablica 1 View faktori

Nakon toga je potrebno odraditi ukupan upad topline u sustav. Zato što imamo deset površina, imamo deset jednadžbi s deset nepoznanica. Jednadžbe koje ćemo koristiti glase:

$$\sigma T_i^4 = J_i + \frac{1 - \varepsilon_i}{\varepsilon_i} \sum_{j=1}^N F_{i \rightarrow j} (J_i - J_j)$$

$$\Phi_i = A_i \sum_{j=1}^N F_{i \rightarrow j} (J_i - J_j)$$

Ukupan upad radi zračenja iznosi

$$\Phi_r = 123 \text{ [W]}$$

3.1.3. Proračun upada topline prilikom rada ventilatora

Problem je kod ovog slučaj što se ne zna kolika je iskoristivost ventilatora, stoga je uzeta u obzir ukupna potrošnja ventilatora te ona iznosi:

$$\Phi_v = 36 \text{ [W]}$$

3.1.4. Proračun upada topline prilikom rada neonskih lampi

Neonske lampe ukupno izbacuju malo topline u okolinu, jedine bolje po pitanju tog segmenta su LED lampe. Potrošnja i trajnost LED lampi je isto velik plus, ali veliki minus je cijena istih.

$$\Phi_s = 6.5 \text{ [W]}$$

3.1.5. Proračun upada topline prilikom upada toplog zraka

Sustav ima jednu stranu otvorenu, pa iako ima hladnu zračnu zavjesu, topli zrak iz prostorije ulazi u sustav i grije ga. Bitno je odrediti koliko tog zraka uđe u sustav i koliko topline daje sustavu.

$$\Phi_{uo} = 347 \text{ [W]}$$

Primjećujemo da je ovo izrazito veliki toplinski upad, što je i normalno, s obzirom da sustav napravi 64 promjene zraka.

.

3.1.6. Proračun upada topline prilikom odmrzavanja isparivača (defrost)

U ovom slučaju problem nam stvara isparivač. Funkcija isparivača jest da upija toplinu, a prilikom toga dolazi do kondenzacije vlage na rebrima isparivača. To samo po sebi i ne bi bio problem, ali problem stvara formiranje te vlage u led na rebrima, a led je toplinski izolator. Za ovaj slučaj ćemo se koristiti jednadžbama:

$$\Phi_{im} = \frac{hf_{ml}}{\Delta t}$$

$$\Phi_{refg} = qm(h_1 - h_2)$$

$$\Phi_{df} = \Phi_{refg} - \Phi_{im} = 12 \text{ [W]}$$

3.1.7. Proračun upada topline zbog protukondenzivnih grijača

Ovi grijači su postavljeni uz stijenke kod kojih postoji mogućnost da temperatura padne ispod temperature kondenzacije. Koriste se kod sustava s jako niskim temperaturama.

U ovom slučaju nije potrebno ugrađivati grijače. Stoga:

$$\Phi_{ash} = 0 \text{ [W]}$$

3.1.8. Proračun upada topline zbog hrane

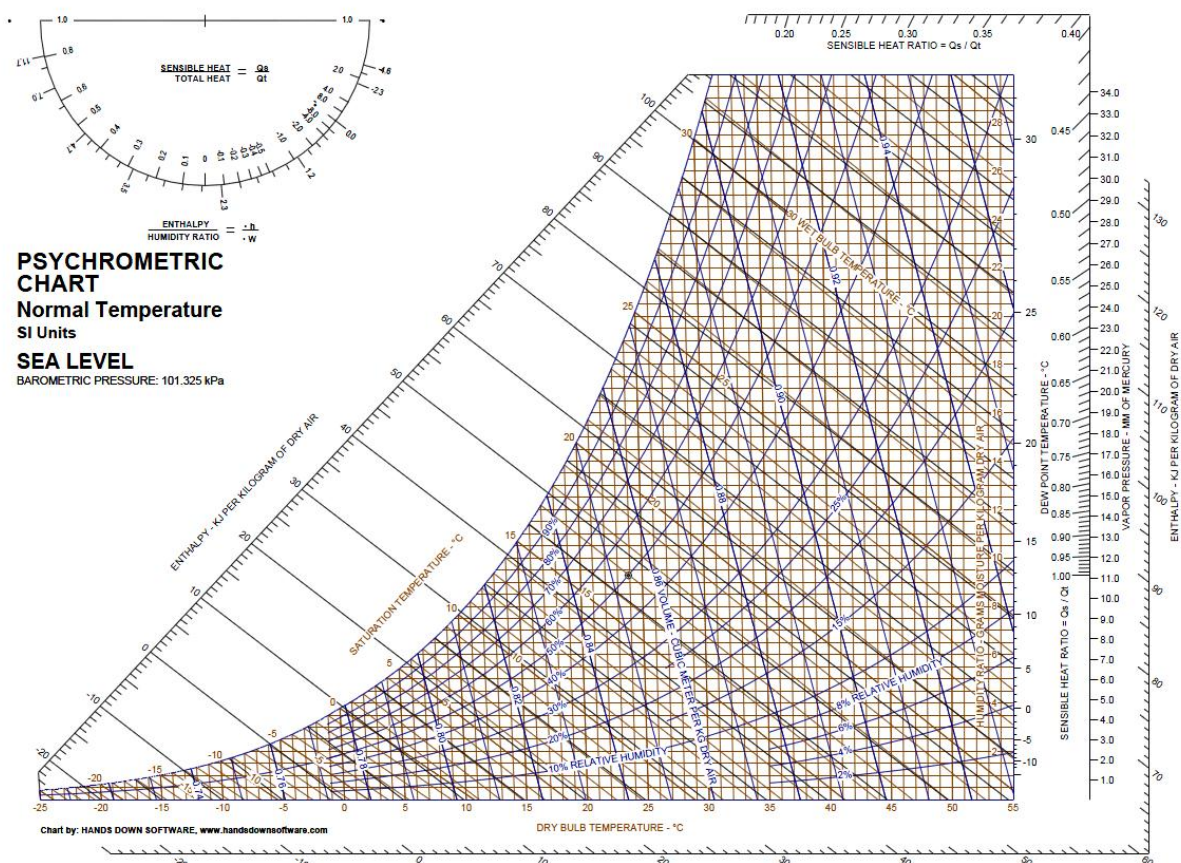
Prilikom transporta hrane do vitrine može se pretpostaviti da temperatura hrane poraste. Taj porast temperature rezultira kao upad topline u sustav, te sustav taj upad mora savladati. U proračunu su vrijednosti za tri tipa hrane: salata, kolači i napitak. Uzet je u obzir najgori i najizgledniji slučaj.

$$\Phi_h = 28.4 \text{ [W]}$$

3.2. Upadi latentne topline

3.2.1. Latentni upad topline radi izmjene zraka

Prilikom izmjene zraka topliji zrak se miješa sa hladnijim zrakom, te radi razlike u parcijalnim tlakovima vodene pare u zraku dolazi do kondenzacije što rezultira upadom topline u sustav. Sustav je prvo riješen numerički, a nakon toga je napravljena provjera preko psihometrijske tablice.



Slika 6 Psihometrijska tablica

Ukupan upad topline:

$$\Phi_{lt} = 134 \text{ [W]}$$

3.2.2. Latentni upad topline radi respiracije hrane

Kod hrane se prilikom promjene temperature izlučuje vlaga. U pravilu je izrazito bitno izračunati tu količinu kod velikih hladnjača, ali ovdje je uzeta u obzir samo radi količine vlage koja se izlučuje. Radi malog volumena je normalno da toplinski upad također bude relativno mali, a on iznosi :

$$\Phi_{rh} = 0.28 \text{ [W]}$$

3.3. Provjera sustava na kondenzaciju

3.3.1. Provjera temperaturi stijenki sustava

Ovaj dio je detaljno obrađen u proračunu, te je bitno da vanjske temperature stijenki ne padnu ispod temperatura zasićenja. U ovom slučaju sve temperature su iznad temperature zasićenja, stoga nema straha od kondenzacije.

3.3.2. Izračun količine kondenzata na izlazu iz sustava i potrebne topline isparavanja

Budući da se u sustavu skuplja vlaga, bitno je tu istu vlagu odvesti iz sustava. Ta vlaga se vodi do posude za kondenzat i taj isti kondenzat se treba nekako ukloniti iz sustava.

Naravno ako dobijemo potrebnu toplinu za isparavanje, možemo bez problema odabrati grijač koji će tu vlagu ispariti. Potreban toplinski tok iznosi:

$$\Phi_{kond} = 187 \text{ [W]}$$

3.4. Ukupan upad topline u sustav

Sad možemo odrediti ukupan upad topline u sustav koji je jednak rashladnom učinku.

Dakako, latentni gubici nisu veliki, ali nisu ni zanemarivi. Ukupni gubici iznose:

$$\Phi_{\text{sens}} = 740 \text{ [W]}$$

$$\Phi_{\text{lat}} = 134 \text{ [W]}$$

$$\Phi_{\text{ug}} = \Phi_{\text{sens}} + \Phi_{\text{lat}} = 874 \text{ [W]}$$

4. PRORAČUN RASHLADNOG SUSTAVA

Sada kada imamo rashladni učin koji treba savladati nije problem odrediti komponente sustava. U ovom dijelu treba odabrati rashladni medij, kondenzacionu jedinicu, isparivač, ventile.

4.1. Odabir rashladnog medija

Od sporazuma u Montrealu više se ne smiju koristiti plinovi na bazi CFC-a i HCFC-a jer klor u toj bazi uzrokuje uništavanje ozona. Sporazum je 1987 godine potpisalo 24 države, te sporazum ne propisuje trenutnu zabranu već postepeno smanjivanje emisije štetnih plinova koji ugrožavaju ozonski omotač. Danas se smiju koristiti plinovi isključivo na bazi HFC-a.

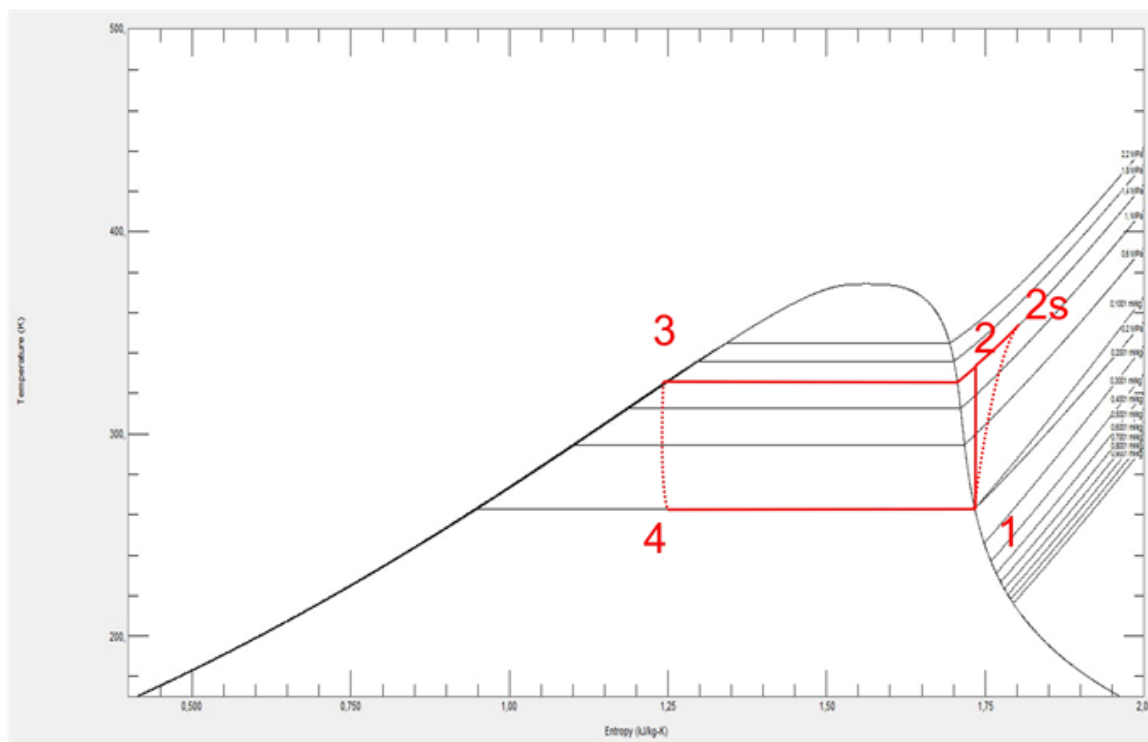
Uništavanje ozonskog omotača uzrokuje efekt staklenika, te porast temperature na planeti. Sunce zrači UVA, UVB i UVC zrakama, te porast CO₂ sprječava odbijanje tih zraka natrag u svemir.

Danas se kod odabir plinova, osim termodinamičkih svojstava plina vežu i još dva svojstva. Potencijal uništavanja ozona (ODP) i potencijal efekta staklenika (GWP).

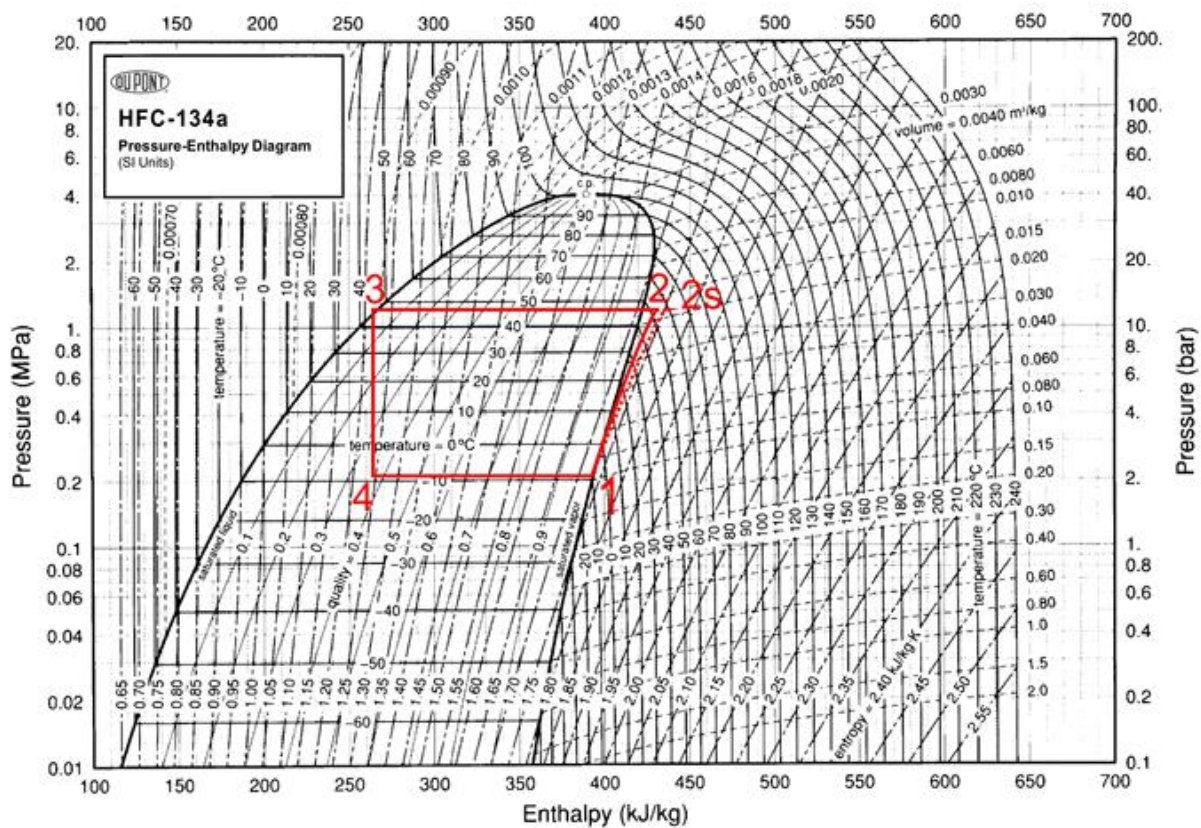
Za rashladni plin je odabran HFC-134a. Plin ima ODP = 0 i GWP = 0. Znači plin je apsolutno neškodljiv za ozonski omotač.

4.2. Proračun komponenti rashladnog sustava

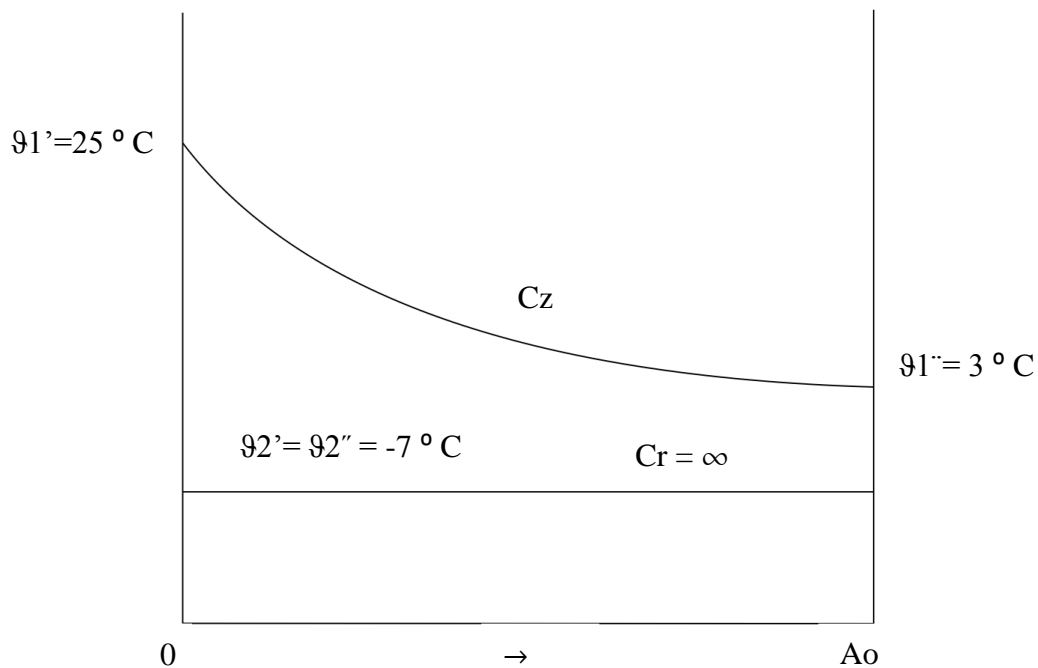
Prvo bi trebalo definirati proces, a potom krenuti s proračunom komponenti. Proces je ljevokretan i kao takav ne može proizvesti koristan rad. Proces ćemo opisati u P-h i T-s dijagramima.



Slika 7 Prikaz procesa u T-S dijagramu za plin R-134a



Slika 8 Prikaz procesa u P-h dijagramu za R-134a

Slika 9 ϑ – A dijagram isparivača

Za sustav treba uzeti dijagrame za odabrani plin. Nakon toga treba odrediti temperaturu kondenzacije, te temperaturu na isparivaču. Dobili smo točke 1, 3 i 4 te sada možemo izračunati stanje u točkama 2 i 2s. Budući da kompresor nema 100% učinkovitost imamo blagi porast entropije i blagi porast temperature. Treba uzeti u obzir da temperatura prostora koji se hladi ne odgovara temperaturi isparivača, već je ona za oko 10 °C veća.

Sustav radi tako da kompresor kompresira tlak rashladnog medija na puno veći od atmosferskog te ga distribuira kondenzatoru koji taj medij hladi na temperaturu kondenzacije tj. cijeli medij kondenzira na tlaku kompresije. Nakon toga medij dolazi do termostatskog ekspanzionog ventila, te plin polagano ekspanzira, a temperatura i tlak mu naglo padaju. Plin nakon ekspanzije ulazi isparivač i upija toplinu iz prostora, te se plin vraća natrag u kompresor.

Do problema može doći ako sav plin u isparivaču ne ispari. Tada kapljevina može ući u kompresor te uzrokovati hidrodinamički udar zbog toga što je fluid približno nestlačiv. Problem može napraviti i vlaga ako slučajno ostane zarobljena u sustavu. Ona može uzrokovati smrzavanje termostatskog ekspanzionog ventila.

Za usporedbu koliko je pojedini rashladni sustav dobar koristi se Carnotov ljevokretni proces.

Potrebna snaga kompresora iznosi:

$$P_c = q_m(h_2 - h_1) = 240 \text{ [W]}$$

Toplina koju mora odstraniti kondenzator iznosi:

$$\Phi_{\text{kond}} = q_m(h_2 - h_3) = 1099 \text{ [W]}$$

Eksergijska učinkovitost iznosi:

$$\eta_{\text{ex}} = \frac{\text{COP}_r}{\text{COP}_c} = 0.73 \%$$

4.3. Proračun cjevovoda

Nakon proračuna komponenti potrebno je još odrediti dimenzije cijevi u sustavu:

Potreban dijametar usisa

$$d_u = \sqrt{\frac{4qm}{\rho 1w_u \pi}} = 8.8 \text{ [mm]}$$

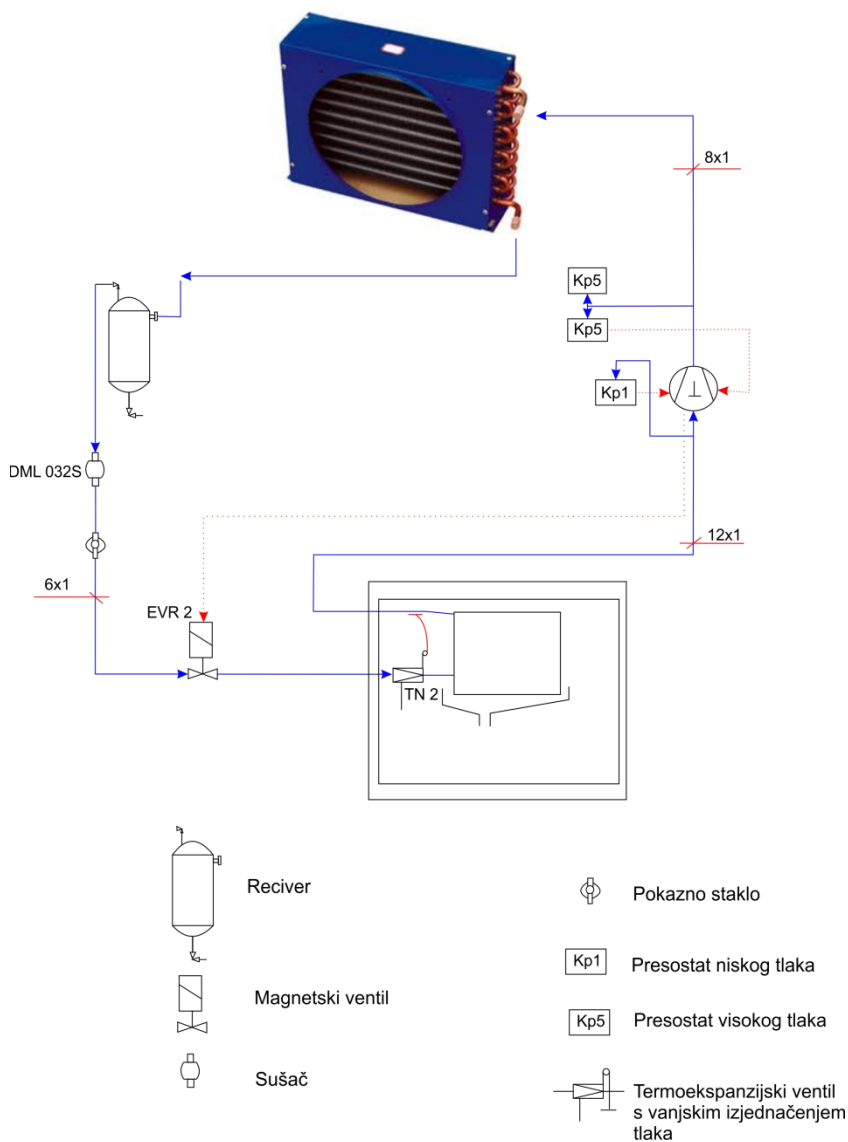
Potreban dijametar tlačnog voda

$$d_t = \sqrt{\frac{4qm}{\rho 1w_u \pi}} = 3.512 \text{ [mm]}$$

Potreban dijametar kapljevinskog voda

$$d_k = \sqrt{\frac{4qm}{\rho 1w_u \pi}} = 3.512 \text{ [mm]}$$

4.4. Odabrane komponente sustava



Slika 10 Shematski prikaz rashladnog uređaja

Kondenzaciona jedinica : K1DH-0,8-EP

TIP : SC 21 GU

Radni medij : R-134a

Područje : -25 °C / +15 °C

$Q_{10} = 940$ [W]

$P_{10} = 560 \text{ [W]}$

Dobavljač : MB- Frigo

Termostatski ekspanzioni ventil

Danfoss TXV

Model : TN2 R134-a bez MOPA

Dobavljač : MB- Frigo

Elektroventil

Danfoss EVR 2S 6 mm

Tip : 032F202831

Dobavljač : MB- Frigo

Sušać

DML 0325

Tip : 023Z4551

Dobavljač : MB- Frigo

Presostat

Danfoss

Komada : 2

Dobavljač : MB- Frigo

IZO- Stakla

Dobavljač : Staklo Piletić

Ventilator

TUBO 120 TP

$P = 18 \text{ [W]}$

Dobavljač : Klima-kontakt

Isparivač

Dimenzije : 212 x 188 x 480 [mm]

Razmak između rebara = 4 [mm]

Debljina rebra = 0.3 [mm]

Vanjski promjer cijevi = 12 [mm]

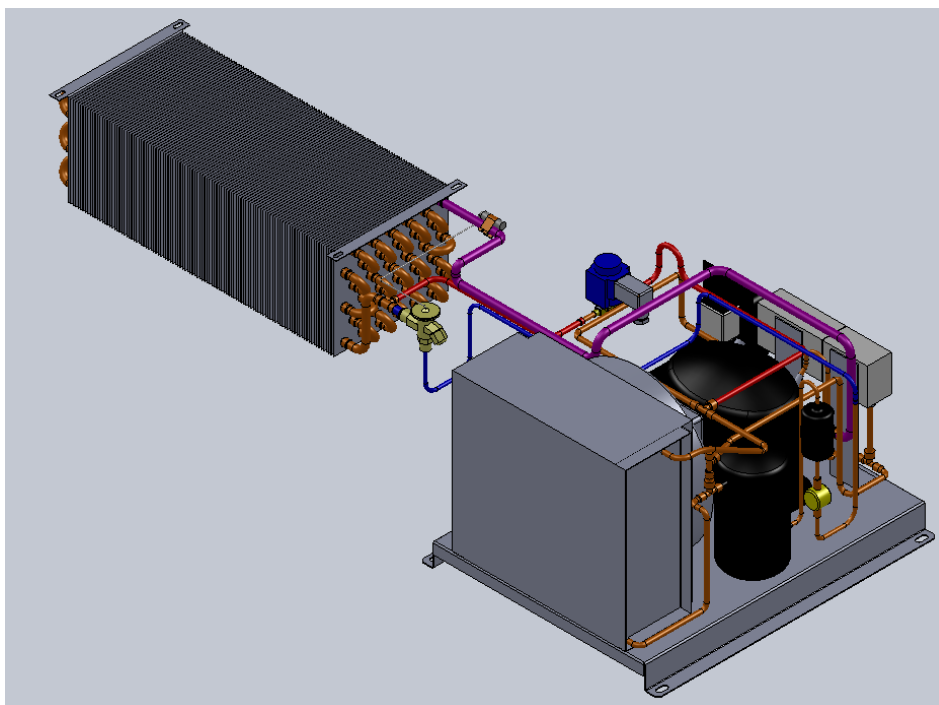
Termostat

Model : Carel ir33

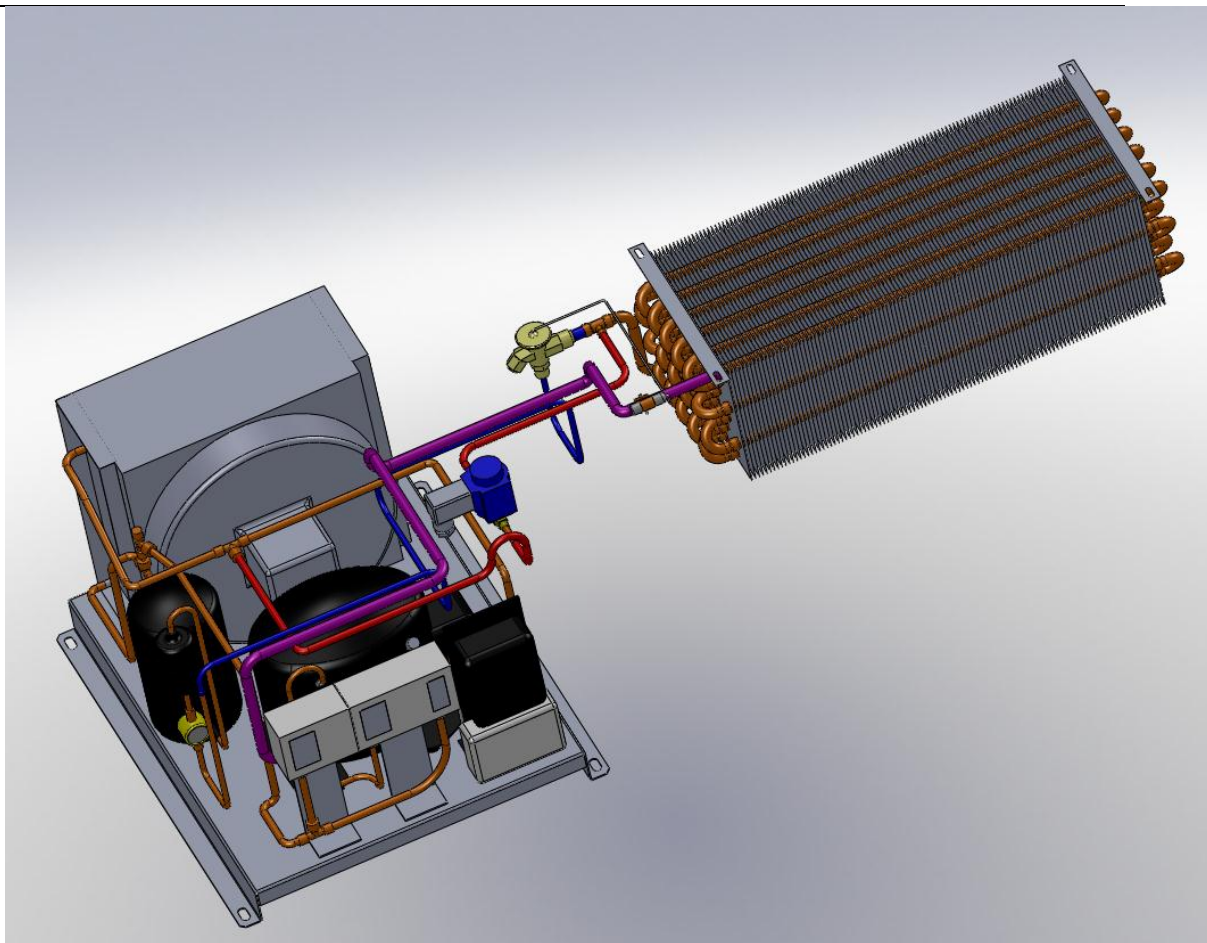
5. Konstrukcijsko rješenje sustava

Sustav je trebalo u zadnji tren redizajnirati. Problem je nastao kad je došla ponuda za kondenzacionu jedinicu, te je ona iskočila iz gabarita. Cijeli sustav je izrađen od limova većinom debljine 1 mm i cijevi.

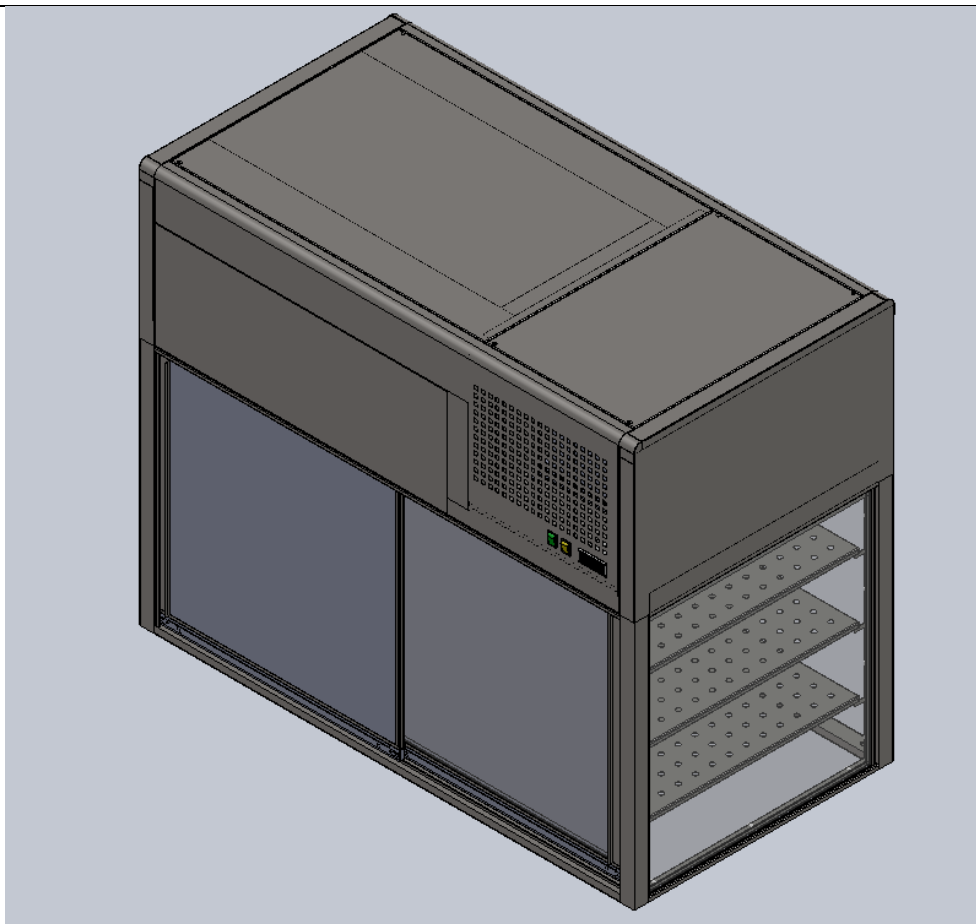
Trebalo je paziti da se ne pogriješi s tehnološke strane, da se ne napravi dio koji je nemoguće savinuti ili dijelovi koji se ne mogu upariti.



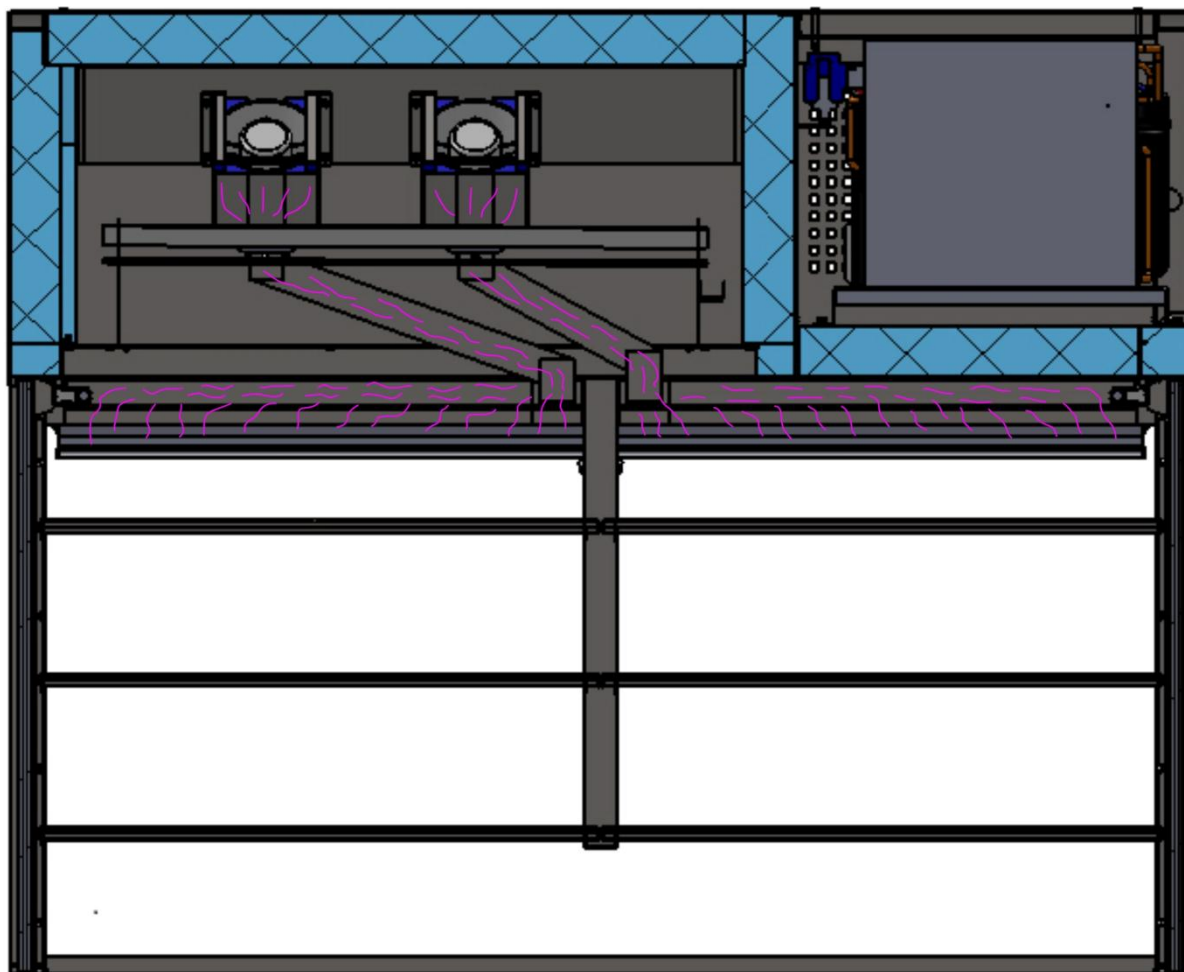
Slika 11 Prikaz kondenzacione jedinice, isparivača, termoekspanzionog ventila (prednja strana)



Slika 12 Prikaz kondenzacion jedinice, isparivača, termoeekspanzionog ventila (stražnja strana)



Slika 13 Prikaz cijelog rashladnog sustava



Slika 14 Prikaz strujanja hladnog zraka

6. ZAKLJUČAK

Iznenadujuće je da na tržištu ne postoji niti jedan tip ovakvog sustava. Najbliže tomu je Kogast, ali oni rade samo nadgradnje s statičkim hlađenjem. Cijena najjeftinije Kogastove nadgradnje iznosi oko 18.000 kn, dok od elektroluxa vitrina košta oko 35.000 kn. Cijena materijala, dobavnih dijelova i cijena rada vitrine koja bi trebala biti izrađena u društvu končar iznosi 12.000 kn, što donosi potencijalno dobru zaradu.

Ovaj zadatak je predstavljao izazov, pošto nisam sa smjera termotehnika, te mi je dao ono što je budućim inženjerima najbitnije, a to je iskustvo. Mogu reći da sam bitno popravio znanje iz termodinamike, te savladao jedan dio HVAC&R sustava.

PRILOZI

- I. CD-R disc
- II. Tehnička dokumentacija
- III. Proračun rashladnog sustava

LITERATURA

- [1] Končar Ugostiteljska oprema
<http://www.koncar-ugo.hr/index.html>
- [2] Yunus A. Cengel : Heat and mass transfer – Practical approach
- [3] W.Whitman , W.Johnson , J.Tomczyk , E.Silberstein : Refrigeration & air conditioning technology
- [4] Herold, Z.: Računalna i inženjerska grafika, Zagreb, 2003.
- [5] ASHRAE Journal "Efficient Display Case Refrigeration"
- [6] CIBSE Guide B HVAC